

Tetők potenciális szoláris energia-bevételének kiszámítása egy belvárosi területen

Gál Tamás, Unger János*

Abstract

The aim of our research is to calculate the solar irradiance assuming clear sky conditions for the inner city of Szeged. The basis of the calculations is the 3D building database of Szeged, which contains more than 22 000 elements. Before the radiation calculation this vector based database had to be converted to a raster based digital surface model. This model similar to the digital elevation models (DEM) and it contains not only the natural relief, but also the buildings. The calculations were carried out using the exposure of the roofs of individual buildings firstly as separate elements and secondly, including the shading effect of the surrounding buildings as well. With the comparison of the two outputs we can reveal the effect of the mutual shading on the possible solar energy gain of the building roofs in urban areas.

1. Bevezetés

A szoláris sugárzás, mint megújuló energia, jelentős forrás lehet városi környezetekben. Ezek a városi területek, noha viszonylag kis kiterjedésűek a teljes földfelszínhez képest, összességében az energia fő felhasználóinak számíthatnak. A tetőkre vagy falakra telepített aktív szolár rendszerek által termelt energia „szállítási úthossza” rendkívül rövid, ezzel szállítási energiavesztése is elhanyagolható, így tevőlegesen hozzájárulhat az épületek energiaigényének – legalább részbeni – biztosításához. Ez az igény nagyon szoros kapcsolatban van az épületek szezonálisan változó mértékű hővesztésével, amely bizonyos periódusokban meghaladhatja a felszín napi szoláris energia-bevételét, elsősorban a sűrűn beépített belvárosi területeken (Szeprődi-Egeresi and Zöld, 2011).

Egy adott helyen a felszínre jutó szoláris energia összege nagyrészt természetes tényezőktől, így a Nap-Föld geometria évszakos változásától, a hely földrajzi koordinátáitól, a légkör összetételétől és időjárási körülményeitől függ, valamint a hely környezetének légszennyezettségi állapota is befolyásolja. Városi környezetben az épületek különböző magassága és egyenetlen területi eloszlása miatt a felszíngeometria igen összetett mind horizontálisan, mind pedig vertikálisan, így a kölcsönös és többszörös árnyékolás csökkentheti a tetők szolár rendszereinek potenciális energia-bevételét.

* Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, tgai@geo.u-szeged.hu, unger@geo.u-szeged.hu

A cikk a 17. Épületgépészeti és Gépészeti Szakmai Napok keretében rendezett konferenciára benyújtott előadás alapján készült. Lektorálta: Prof. Zöld András, Debreceni Egyetem



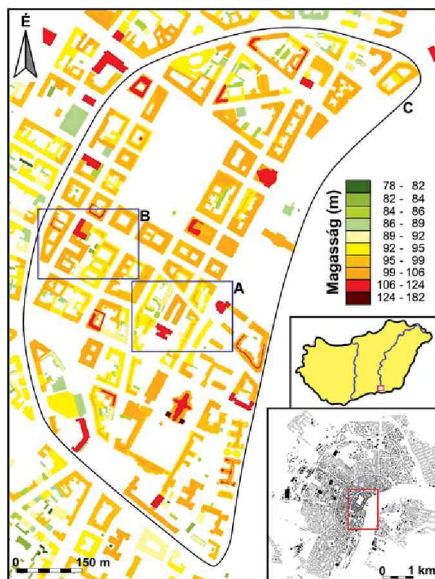
Természetes domborzat esetében több eljárás is létezik a direkt és diffúz szoláris sugárzás számítására (Hetrick et al., 1993, Kumar et al., 1997), de e módszerek városi területekre (beleértve a tetőket és falakat is) történő alkalmazása igen ritka. A jelen tanulmányban bemutatott elemzés a kezdő lépése egy hosszabb távú kutatásnak, amely a városok épületei, házai által felhasználható szoláris energia vizsgálatára irányul. Célunk, hogy számszerűsítsük az épületek egymást kölcsönösen leárnyékoló hatását a különböző irányultságú és kitettségű tetők szoláris energia-bevételének lehetséges maximális összegére. Első lépésként a légkör állapotára nézve egy egyszerű alapfeltevéssel élünk, amely szerint az égbolt felhőtlen, átlagos mennyiségű vízpára van benne és szennyezőanyag-mentes. Példaképpen Szeged belvárosára végezzük el számításainkat.

2. A vizsgált terület és a felhasznált módszerek

2.1. Szeged belvárosa és a felhasznált digitális felületmodell

Szeged (46°É, 20°K) az Alföld déli részén helyezkedik el, közvetlen környezetének átlagos tengerszint feletti magassága 79 m (1. ábra, lásd a következő oldalon). A Trewartha-féle klímaszáltyozási rendszer alapján ez a térség a D.1 típusba sorolható (kontinentális klíma hosszabb melegebb évszakkal), az országon belüli finomabb körzetekre bontás szerint pedig a meleg-száraz klíma a jellemző, vagyis a nyár meleg, aszályra hajlamos, bőséges a napfénytartam, aránylag kicsi a páratartalom és a felhőzet, télen kevés a hócsapadék, emiatt vékony a hótakaró (Unger, 1996). Szeged városiastnak tekinthető beépített része kb. 50 km² kiterjedésű, szerkezete szabályos, körutas-sugarutas jellegű.

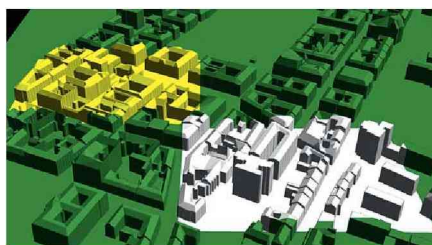
Jelen vizsgálat keretében a város központjában jelöltünk ki egy területet, amelyre a számításokat elvégeztük. E számítási terület határát a belső körút valamint a Tisza vonala jelöli ki (1. ábra), nagysága hozzávetőlegesen 0,6 km² (630 425 m²). Az itt található 2-4 szintes, főként polgári bérházak átlagos magassága 13 m, azonban a viszonylag homogén magasságú tetőszintet néhány jóval magasabb, 10 emeletes épület töri meg. Az eredmények szemléltetése érdekében a számítási területen belül kijelöltünk két mintaterületet, melyek kiterjedése 230 m x 160 m (36 800 m²). Az A mintaterület a számítási terület központjától délre található, míg a B a számítási terület nyugati részén fekszik (1. ábra). Az A területen a különböző magasságú épületek meglehetősen egyenetlenül oszlanak el (nagyságuk 6 m és 35 m közé esik). A B mintaterületen az épületmagasságok eloszlása homogénebb (noha nagyságuk 2 m és 27 m közötti, de ez annak tulajdonítható, hogy az egyik belső udvaron van néhány, kb. 2 m magas garázs).



1. ábra. Épület alaprajzok Szegeden, valamint a mintaterületek (A, B) és a teljes számolási terület (C) lehatárolása

A besugárzás számításához szükség van egy részletes digitális felületmodellre, amely a természetes domborzaton kívül tartalmazza az épületek falait és tetőit is. A felületmodell létrehozásának alapja a város – 75,5 m és 83 m közötti tengerszint feletti magassági tartományban ingadozó – természetes domborzatát tartalmazó digitális domborzatmodell (DDM). Az épületek alaprajzainak és magassági adatainak forrása a szegedi 3D épület-adatbázis (Unger, 2006). Ez a 3D épület-adatbázis tartalmazza a város összes épületének geodéziai pontosságú alaprajzát, valamint az épületek három – digitális fotogrammetria módszerrel mért – magassági értékét (alap-, eresz- és tetőmagasság) is.

A felületmodell elkészítéséhez az összes épület tetőgerincét és ereszeit digitalizáltuk, amire azért volt szükség, mert az alaprajzok, tetőgerinc, valamint az ereszvonalak alapján az ArcView 3D Analyst moduljával elkészíthető a felszínt szabálytalan háromszögekkel leképező TIN háló. Az elkészült TIN hálót és a domborzatmodellt (DEM) átalakítottuk 0,5 m felbontású ESRI GRID rasteres adatformátumra, majd ezeket egymásra illesztve az összes gridpont maximális értékét tartalmazó új GRID-et hoztunk létre. Az így megkapott GRID állomány nagy előnye, hogy a terület minden pontjában automatizáltan számolható a kitettség és a lejtőszög (tetők dőlésszöge), amely értékek nélkül a besugárzás mértékének pontos számítása nem lehetséges. Az elkészült felületmodellnek a két mintaterületre vonatkozó madártávlati képe jól szemlélteti a felhasznált adatok részletességét (2. ábra).



2. ábra. Az A (fehér) és B (sárga) mintaterület és környezetének digitális felületmodellje (délről nézve)

2.2. A napi besugárzás összegek kiszámítása

Az egy nap alatt beérkező szoláris sugárzás összegének kiszámítását egy, az ArcView saját beépített programnyelvén (Avenue) elkészített algoritmussal végeztük. Az Avenue objektum-orientált programnyelv nagy előnye, hogy az ArcView beépített függvényeit szabadon felhasználhatjuk, valamint a felületmodell létrehozása, a sugárzási összegek számolása és az eredmények megjelenítése egy rendszeren belül végezhető el.

Az előzőekben említett számításokhoz elengedhetetlen feltétel a Nap egy adott időpontban az égbolton elfoglalt helyzetének pontos ismerete. A Nap éggömbi helyzetét egyértelműen definiálja a horizont feletti napmagasság (h_{Nap}) és a napon átmenő égi vertikális, valamint a déli irányon átmenő égi vertikális közötti azimutszög (d_{Nap}). A napmagasság és az azimutszög értéke az (1) és (2) egyenletek segítségével határozható meg (Robinson, 1966):

$$\sin h_{Nap} = \sin \varphi \cdot \cos \delta_{Nap} + \cos \varphi \cdot \cos \delta_{Nap} \cdot \cos \omega_{Nap} \quad (1)$$

$$\sin a_{Nap} = \frac{\cos \delta_{Nap} \cdot \sin \omega_{Nap}}{\cos h_{Nap}}, \quad (2)$$

ahol φ – az adott hely földrajzi szélessége, δ_{Nap} – a Nap deklinációja és ω_{Nap} pedig a Nap órászöge lesz. A deklináció az év során –23,45° és +23,45° között változik, és a (3) egyenlet segítségével kiszámolható egy adott napra, ha ismert e nap éven belüli sorszáma (N):

$$\delta_{Nap} = 23,45 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + N}{365} \right). \quad (3)$$

A következő fontos paraméter az adott felszín vagy tető normálisa és a Nap iránya közötti szög (i). Ennek meghatározása a (4) egyenlet segítségével végezhető el:

$$\cos i = \cos h_{lejt} \cdot \sin h_{Nap} + \sin h_{lejt} \cdot \cos h_{Nap} \cdot \cos(a_{Nap} - a_{lejt}), \quad (4)$$

ahol h_{lejt} az adott gridpontban mérhető lejtőszög és a_{lejt} pedig az adott lejtő kitettsége. A kitettség értéke déli irányban 0° és óramutató járásának megfelelően növekszik. A lejtőszög és a kitettség a felületmodell alapján az Avenue programnyelv egy-egy beépített függvényének segítségével számítható.

A Föld légkörének felső határára érkező sugárzás mennyiségét írja le a napállandó (I_0). Számos mérés foglalkozott a napállandó pontos értékének meghatározásával, ezek alapján értéke 1653 Wm^{-2} (Jansen, 1985) és 1373 Wm^{-2} (Monteith and Unsworth, 1990) között változik. A számításainkhoz a leginkább elfogadott (Duncan et al., 1982, Wherli, 1985, Kumar et al., 1997) értéket használtuk (1367 Wm^{-2}). A sugárzás folyamatosan gyengül, amíg a légkörön keresztül eléri a felszínt. Ez a sugárzsgyengítés jelentősen függ a sugár légkörben megtett relatív úthosszától (M) és a légkör átbocsátási együtthatójával (τ) írható le. Az M közelítő értéke az (5) egyenlettel számítható, míg a légkör átbocsátási együtthatóját a (6) egyenlet adja meg, azon feltételezés mellett, hogy nyugodt, tiszta és felhőmentes időjárás tapasztalható a területen (Kreith and Kreider, 1978):

$$M = \sqrt{1229 + (614 \cdot \sin h_{\text{Nap}})^2} - 614 \cdot \sin h_{\text{Nap}} \quad (5)$$

$$\tau = 0,56 \cdot (e^{-0,65M} + e^{-0,095M}) \quad (6)$$

Ezt követően, minden szükséges paramétert ismerve, kiszámítható a direkt (I_{dir}), a szórt (I_{dif}) és a környező terepről reflektált (I_{ref}) sugárzás a (7), (8) és (9) egyenletek alapján (Gates, 1980)

$$I_{\text{dir}} = I_0 \cdot \tau \cdot \cos i \quad (7)$$

$$I_{\text{dif}} = I_0 \cdot (0,271 - 2,294 \cdot \tau) \cdot \cos^2 \frac{h_{\text{refl}}}{2} \cdot \sin h_{\text{Nap}} \quad (8)$$

$$I_{\text{ref}} = 0,15 \cdot I_0 \cdot (0,271 + 0,706 \cdot \tau) \cdot \sin^2 \frac{h_{\text{refl}}}{2} \cdot \cos h_{\text{Nap}} \quad (9)$$

Az épületek egymást árnyékoló hatása számszerűsítésének érdekében a beérkező szoláris sugárzás értékét ($K \downarrow$) két képlettel határoztuk meg a számítási terület gridpontjaira. Azonosítottuk az épületek árnyékára eső gridpontokat az Avenue Hillshade nevű függvényének segítségével annak eldöntése érdekében, hogy a két képlet közül melyiket használjuk. A közvetlen sugárzásnak kitett pontokban a (10) egyenletet, míg az árnyékban található gridpontok esetében a (11) egyenletet használtuk, megkapva a teljes számítási területre a besugárzás térbeli eloszlását ($K \downarrow_{\text{árnyék}}$). Mivel az is célunk volt, hogy kiszámítsuk az épületek árnyékolásának besugárzás-módosító hatását (ez veszteséget jelent), ezért egy olyan besugárzási mezőt is létrehoztunk, ahol minden egyes pontra vonatkozó értéket a (10) egyenlettel számítottuk ki, megkapva így azt az elméleti eloszlást, amikor az épületek nem árnyékolják egymást ($K \downarrow_{\text{nem-árnyék}}$).

$$K \downarrow = I_{\text{dir}} + I_{\text{dif}} + I_{\text{ref}} \quad (10)$$

$$K \downarrow = I_{\text{dif}} + I_{\text{ref}} \quad (11)$$

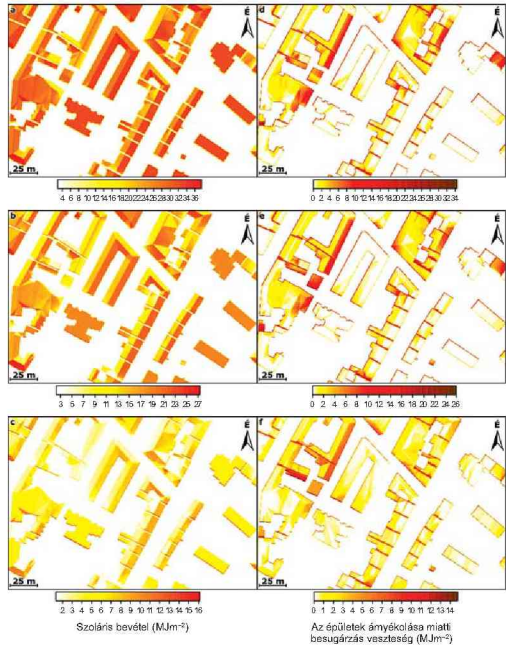
Az elkészített algoritmust az év – besugárzási szempontból – jellegzetes napjaira (napjegyeneslőségek és napfordulók) alkalmaztuk. A számításokat 30 perces időlépcsővel végeztük el, ugyanis ez volt a számítási kapacitás és pontosság optimuma. Mivel a tavaszi és őszi napjegyeneslőség idején a Nap pályadatai megegyeznek, ezért végül három – a pályaadatok szem-

pontjából – különböző napra készítettük el a beérkező sugárzás napi összegei (háztetőkön való) eloszlásának térképét a számítási területre.

3. Eredmények

A 3. ábra mutatja a besugárzás kiszámolt napi összegének területi eloszlását az A mintaterületen a kiválasztott napokon. E szerint a nyári napfordulókra a legnagyobb értékek a dél felé néző tetőkön találhatók (3a. ábra). A nagy napmagasság miatt az épületek árnyéka nem mindegyik tetőn csökkenti a bevételt, azonban a terület közepén található két magas épület miatt a túlük ÉNy-ra lévő közeli tetőkön a napi sugárzási bevétel kb. 10 MJm^{-2} -rel csökken (3d. ábra). A tavaszi és őszi napjegyeneslőségek idején a területi eloszlások szerkezete az előzőhöz hasonló (3e. ábra), de a szoláris bevétel veszteségének aránya nagyobb az összességében alacsonyabb bevételi összegek miatt (3b. ábra). A téli napforduló napján az árnyékok szinte minden tetőn csökkentik a bevételt és a csökkenés mértéke eléri az elméleti bevétel 1/3-át is a terület nagy részén (3c. és 3f. ábra).

A besugárzás ($K \downarrow_{\text{árnyék}}$) és az épületek okozta veszteségek ($\Delta K \downarrow = K \downarrow_{\text{nem-árnyék}} - K \downarrow_{\text{árnyék}}$) napi összegeinek számszerűsített statisztikai jellemzőit tekintve számos következtetés vonható le (1. táblázat). Például nyáron – a legerősebb besugár-



3. ábra. A szoláris bevétel és az árnyékolás okozta besugárzási veszteség napi összegei a nyári napforduló (a, d), a tavaszi és őszi napjegyeneslőség (b, e), valamint a téli napforduló (c, f) idején az A mintaterületen

1. táblázat. A szoláris bevétel ($K\downarrow_{\text{árvnyék}}$) és az árnyékolás okozta veszteség ($\Delta K\downarrow$) napi összegeinek néhány statisztikai jellemzője a számítási és a mintaterületeken

	Időpont	$K\downarrow_{\text{árvnyék}}$ (MJm ⁻²)		$\Delta K\downarrow$ (MJm ⁻²)		$\Delta K\downarrow \cdot 100 / K\downarrow_{\text{árvnyék}}$ (%)	
		min	átlag	max	átlag	max	átlag/átlag
Számítási terület	június	2,88	25,12	37,68	2,28	34,75	9,07
	március, szeptember	2,25	14,71	28,11	2,29	25,78	15,58
	december	1,32	5,07	16,29	1,79	14,72	35,31
Minta-terület (A)	június	2,88	25,17	37,53	2,59	34,46	10,08
	március, szeptember	2,25	14,66	27,24	2,57	25,78	17,53
	december	1,32	4,69	16,12	1,94	14,72	41,36
Minta-terület (B)	június	2,88	25,67	37,67	1,70	29,12	6,62
	március, szeptember	2,25	15,10	28,06	1,73	22,30	11,46
	december	1,32	5,36	16,17	1,63	14,68	30,41

zású évszakban – a maximális érték jelentősen nagyobb (67%-kal) az átlagnál. Lokalizálva az ilyen magas értékű tetők illetve tetőtérsebeket, megkaphatjuk az aktív szolár rendszerek telepítésére legmegfelelőbb helyeket.

Az 1. táblázatban a veszteség tulajdonképpen azt adja meg, hogy mennyivel lenne több a bevétel árnyékolás nélkül. Ennek a többletnek a százalékos értékei jól tükrözik az árnyékolás évszakos változásait. Nagy napmagasság mellett (nyáron) a maximális bevétel csak 6 – 10%-kal lenne több, míg alacsony emelkedési szögénél (télen) megnő az árnyékolás szerepe és így lényegesen nagyobb (30 – 41%) az eltérés az árnyékoló (valós) és az árnyékmentes (elméleti) helyzet között.

A két mintaterület napi bevételi energiaösszegei nincs jelentős eltérés, míg a veszteség összegei és a megfelelő %-os értékek között már határozott különbségek mutatkoznak a B mintaterület javára (kisebb veszteség minden évszakban): $6,6 \leftrightarrow 10,1$, $11,5 \leftrightarrow 17,5$ és $30,4 \leftrightarrow 41,4$ (%) nyártól haladva a tél felé. Ez egyértelműen annak tulajdonítható, hogy a B területen az épületek nagyrészt közel azonos magasságúak, így egymást csak kismértékben árnyékolják, ellentétben az A területtel, ahol a magas épületek árnyéka jelentősen csökkenti sok, alacsonyabban fekvő tető sugárzási bevételét.

Az A mintaterület teljes tetőfelületére jutó maximális napi energiamennyiségek, csökkenő sorrendben a következők: nyári napforduló – 376 748 MJ, napéjegyenlőségek – 219 407 MJ és téli napforduló – 70 182 MJ. A B mintaterület megfelelő értékei: 432 252 MJ, 254 202 MJ és 90 181 MJ. Ez utóbbi nagyobb értékek magyarázata részben az előzőkre támaszkodik (közel azonos tetőmagasság), részben annak tulajdonítható, hogy a B területen a tetők összfelülete is nagyobb, mint az A területen.

4. Következtetések

Az előzők alapján látható, hogy egy városi környezetben lévő épület tetőjére eső napsgárzás energiamennyiségének meghatározásakor feltétlenül figyelembe kell venni azt a tény, hogy általában nem magányosan álló épületről van szó,

hanem olyanról, amely körül más objektumok is vannak, s így amelyekkel ez az épület kölcsönös – árnyékolás – kapcsolatban van.

A tanulmányban bemutatott módszer figyelembe veszi ezt az árnyékolást, így hasznos információkat nyújthat a különböző nagyságú, dőlésszögű és irányultságú városi tetőkre – az év bármely szakaszában, vagy napján – jutó maximális szoláris energiabevétel nagyságával kapcsolatosan. A kapott értékek alapján akár egy egész városnegyed háztetőinek fotovillamos potenciája megbecsülhető, valamint segítségével pontosan kijelölhetők azok a tetők, illetve azok a helyek egy adott tetőn, ahova érdemes (gazdaságos) szolár rendszereket telepíteni. Eredményeink azt is

feltárat, hogy mennyire fontos figyelembe venni az ilyen számításoknál a környezet árnyékoló hatását, hiszen e hatás következményeként bizonyos esetekben igen jelentős bevételi energiavesztésig léphet fel. Ebből a szempontból a homogénebb tetőmagasságú városrészek előnyösebb helyzetben vannak, mint a változatos magasságú épületekkel rendelkező területek.

Irodalom

- Bencez P., Major Gy., Mészáros E. (1982). Fizikai meteorológia, Akadémia Kiadó, Budapest, p. 300.
- Duncan C.H., Willson R.C., Kendall J.M., Harrison R.G., Hickey J.R. (1982). Latest rocket measurements of solar constant, Solar Energy 28, 385-390.
- Gates D.M. (1980). Biophysical ecology, Springer-Verlag, New York, p. 635.
- Hetrick W.A., Rich P.M., Barnes F.J., Weis S.B. (1993). GIS-based flux models. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers 3, 132-143.
- Jansen T.J. (1985). Solar engineering technology, Partience Hall, New Jersey.
- Kreith F., Kreider J.F. (1978). Principles of solar engineering, Pergamon Press, New York, p. 970.
- Kumar L., Skidmore A.W., Knowles E. (1997). Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment, International Journal of Geographical Systems 11(5), 475-497.
- Monteith J.L., Unsworth M.H. (1990). Principles of environmental physics, E. Arnold, London.
- Paltridge G.W., Platt C.M.R. (1976). Radiative processes in meteorology and climatology, Elsevier, Amsterdam, p.318.
- Robinson N. (1966). Solar radiation, Elsevier, Amsterdam, London and New York, p.1013.
- Seprődi-Egeresi M., Zöld A. (2011). Buildings' heat output and urban climate, Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis 44-45, 103-110.
- Unger J. (1996). Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary, Theoretical and Applied Climatology 54, 147-151.
- Unger J. (2006). Modelling the annual mean maximum urban heat island with the application of 2 and 3D surface parameters, Climate Research 30, 215-226.
- Wehrli C. (1985). Extra-terrestrial solar spectrum, World Radiation Center, Davos Dorf, No. 615.

ÉPÜLETEK LÉGFORGALMA

BAUMANN Mihály, adjunktus

Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar

baumann@pmmik.pte.hu

Abstract:

Many parameters affect the measure of airflows in the buildings. The driving force of the ventilation are the difference of temperatures, wind effect and pressure difference produced by fan. The connection can be characterized with multiple looped system. For solution of the problem we constructed a piece of software. The paper introduces the structure of the software and the calculation method through an example. The result can be used for the specific the dimensions of natural ventilation, exhaust system as well as modelling chimney failures.

1. Bevezetés

Az épületek energetikai felújítása során legtöbbször a nyílászárók cseréje is megtörténik, ilyenkor tömören záró nyílászárók kerülnek beépítésre. Az elégtelen szellőzés miatti levegő minőség problémának látványos következménye a lakások penészesedése. Kémények hibás, életveszélyes működésének is gyakran ezek a problémák állnak a háttérben.

Ennek a felismerésnek kapcsán bízta meg 2010-ben több hazai gázszolgáltató a PTE PMMK Épületgépészeti Tanszékét, hogy végezzen kutatásokat ezen a területen. A kutatási munka kapcsán Dr. Szlivka Ferenc közreműködésével került kifejlesztésre az a módszer, amelynek célja épületek légforgalmának számítással történő modellezése. Ezt az elméleti alapot használta fel a Bausoft Kft. az új méretező programjának elkészítéséhez.

2. Elméleti háttér

A feladat megfogalmazásakor koncentrált paraméterű modellt választottunk. A modell nem foglalkozik a helyiségen belüli áramlásokkal, egy-egy helyiséget úgy kezelünk, mint egy csomópontot, aminek nyomását számítjuk. Az egyes csomópontokat összekötő szakaszokat pedig olyan kapcsolatokat írunk le, amely valamely lehetséges áramlási útvonalra jellemző.

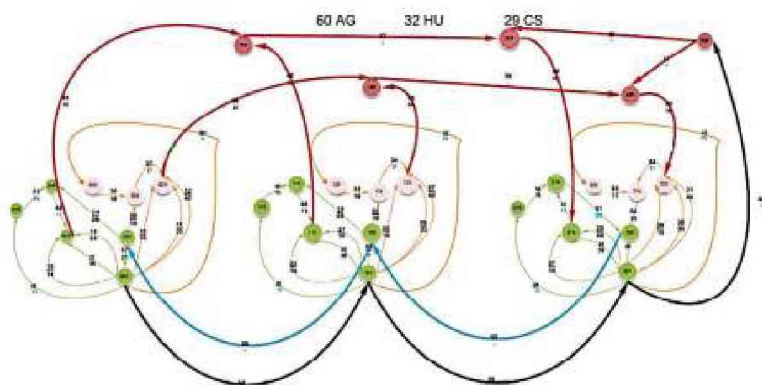
Az egyes kapcsolatokat leíró rendszerben kialakuló áramlásokat és nyomásviszonyokat a hurokolt hálózatok módszerével határozzuk meg. A klasszikus Almásy-módszerrel összevetve a módszert az jellemzi, hogy az alkalmazott nyomásesés függvény nem csak a csőhálózatokra

jellemző másodfokú parabola, hanem szinte tetszőleges függvény lehet. A megoldás újdonsága, hogy a rendszer nem csak passzív elemeket tartalmazhat, hanem aktív elemeket, ventilátorokat, tüzelőberendezéseket vagy kürtöket is.

Az így egyszerűnek tűnő modellalkotásról azonban a munka során kiderült, hogy már egészen kis épületméreteknel is nagyszámú kapcsolatról kell beszélni, ha valamennyi nyílászárót, légbevezetőt, kürtőt, kéményt, ventilátort, légszűrőt figyelembe akarunk venni. Az első ellenőrző számításokat az Excel segítségével végeztük, de már 6 lakás esetén kiderült, hogy az a táblázatkezelő program képességeinek határát súrolja. Szerencsére az elkészült programban nem érezhető ilyen méreteknel korlát.

A kapcsolatok bonyolultságát szemlélteti az 1. ábra, amelyen egy 3 lakásra szűkített modell kapcsolati gráfja látható. Annak ellenére, hogy kisméretű lakásokról van szó, 60 szakaszból, 32 független hurkorról és 29 csomópontból kell beszélni.

A megoldáshoz a program előzetesen felveszi az egyes szakaszok ágáramát úgy, hogy a csomóponti törvények teljesüljenek. Ez után, az iteráció során a program az egyes hurkokat körüljárva ellenőrzi, hogy a szakaszok nyomáscsökkenését előjelhelyesen összeadva mennyire tér el az összeg a 0 értéktől, mekkora hurkóáram korrekció szükséges. Természetesen a korrekciót végrehajtva az más hurkokat is érint, tehát a számítás iterációjának konvergenciája azon múlik, hogy a változtatások stratégiája helyes volt-e.



1. ábra Légforgalom kapcsolati gráf

2.1 Légforgalmat befolyásoló hajtóerők

A modell háromféle hajtóerő hatását képes figyelembe venni:

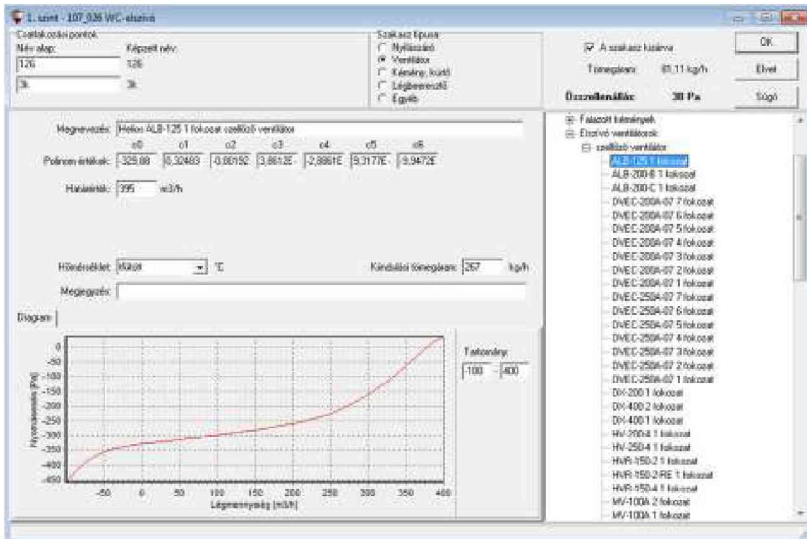
- termikus felhajtóerő
- szélnyomás
- ventilátorok

A termikus felhajtóerő számításához a levegő sűrűségét a hőmérséklet függvényében határozza meg a program. A modell felépítésekor a függőleges szinteltéréseket mind az épületen belül, mind az épületen kívül csomópontok felvételével lehet megadni. A hőmérsékletek paraméteresen adhatók meg, hogy a későbbi változtatás minél egyszerűbb legyen.

Termikus felhajtóerőt hozhat létre egy kürtő, vagy egy kémény egyaránt. A huzat mellett az áramlási ellenállásának számítása is elvégezhető. ehhez a keresztmetszet, hosszúság, érdesség adatokra van szükség. A két csomópontot összekötő szakasz állhat több különböző méretű darabból. Ugyancsak kürtőként kezeljük a programban a helyiségeket, vagy akár a külső teret is.

A hajtóerők közt szerepel a szélnyomás is, ami esetenként meghatározó szerepet tölt be a légforgalomban, de a program maga nem képes a kialakuló nyomások számítására. Az épület körül a szél hatására kialakuló nyomásviszonyok meghatározását más eszközzel kell elvégezni, de a külső térben pontokat felvéve, a nyomások megadhatóak, hogy azok hatását az épületen belül figyelembe tudjuk venni.

A ventilátorok szerepe egyre jelentősebb az épületeinkben. A számításához a jelleggörbe egy hatodfokú polinom függvénnyel adható meg (lásd 2. ábra).



Mivel a programban lehetőséget kívántunk biztosítani arra is, hogy bármely általános elem kezelhető legyen, ezért a ventilátor jelleggörbe megadásánál a megszokotthoz képest két specialításra van szükség.

Egyrészt a jelleggörbe x -tengelyre való tükrözése szükséges, tehát a normális működési tartományban a nyomás értékek negatívak, hiszen ennek az elemnek nem ellenállása van, hanem nyomáskülönbséget hoz létre. Másrészt a jelleggörbének a negatív légszállítás tartományban is folytatódnia kell, hogy az iteráció során ne lépjenek fel problémák.

Amennyiben ventilátorral ellátott tüzelőberendezést kell modellezni, azt ugyancsak ilyen módon lehet feldolgozni.

2.2 Passzív elemek

A passzív elemek közé tartoznak mindazok a szerkezetek, amelyek áramlási ellenállásukkal befolyásolják az eredményt. A program 3 féle típust kezel ebből a szempontból:

- nyílászárók
- légbeeresztők
- légcsatornák, légrácsok

A nyílászárók résein való légáramlás jellemzésére a réstényező és réshosszúság használható. Ezek felhasználásával a térfogatáram számításra szolgáló összefüggés:

$$\dot{V} = a \cdot l \cdot \sqrt[3]{\Delta p^2} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (1)$$

ahol:

a a nyílászáró réstényezője, $\text{m}^3/\text{mhPa}^{2/3}$

l a rés hossza, m

Δp a nyomáskülönbség, Pa

Gondot jelent, hogy a réstényező értékeire kevés irodalmi adat áll rendelkezésre. Szükséges lenne, hogy a jövőben ezen a területen is történjenek előrelépések, mérések.

A légbeeresztők feldolgozása a ventilátorokhoz hasonlóan, a gyártói adatokra illesztett polinom függvénnyel történhet.

A légcsatornák, légrácsok adatmegadása ugyanúgy történik, mint a kürtők esetében, ha ezeknél van szintkülönbség, akkor egyúttal a felhajtóerő is figyelembe vehető.

3. Számítási eredmények megjelenítése

Az adatbevitel során nem kell a kapcsolatokat ábrázolni, csupán az egyes lehetséges útvonalakat kell, mint szakaszokat megadni az előbbieken ismertetett információkkal. A program feladata a kapcsolati mátrix felépítése és az iterációs számítások elvégzése.

Sorozat-jel	Megjegyzés	Csatlakozási pontok	Típus	V [m³/h]	m [kg/h]	Tap [Pa]	T [°C]	Nyitott
0. szétvétel-1 szétvétel	001-101	001-101	Kürtő, kémény	626.1	955.9	40.23	-15	-
001_011 Szobor ablak	011-001	011-001	Nyílászáró	-19.5	-26.7	-25.58	-15	-
002_012-011 Szobor-Szobor ajtó	011-012	011-012	Nyílászáró	22.4	26.7	2.43	20	-
003_012-014 Előter-Szobor ajtó	012-014	012-014	Nyílászáró	46.2	55.2	7.76	20	-
004_012 Szobor ablak	012-001	012-001	Nyílászáró	-20.8	-26.5	-23.19	-15	-
005_011 Szobor ablak	021-001	021-001	Nyílászáró	-25.2	-34.4	-37.38	-15	-
006_025 Fűtő radiátor	025-3k	025-3k	Ventilátor	23.4	34.8	60.73	20	-
007_028 WC radiátor	028-3k	028-3k	Ventilátor	28.1	41.2	74.46	20	-
008_024-021 Előter-szobor ajtó	024-021	024-021	Nyílászáró	-20.8	-34.4	-3.82	20	-
009_014-000 Előter-lepcsőház ajtó	000-014	000-014	Nyílászáró	22.8	27.2	2.36	20	-
0-1 kürtő1 kémény	01k-11k	01k-11k	Kürtő, kémény	111.6	104.5	22.75	100	-
0-1 kürtő2 kémény	02k-12k	02k-12k	Kürtő, kémény	105.8	98.7	22.88	100	-
0-1 kürtő3 kémény	03k-13k	03k-13k	Kürtő, kémény	108.7	102.2	27.96	100	-
0-1 szett lepcsőháza	000-100	000-100	Kürtő, kémény	143.2	171.0	35.13	20	-
010_015-014 Előter-lepcső ajtó	015-014	015-014	Nyílászáró	-90.3	-95.6	-20.26	20	-
011_011-012 Előter-konyha ajtó	013-014	013-014	Nyílászáró	11.2	13.4	1.81	20	-
013_015 Fűtő radiátor	015-3k	015-3k	Ventilátor	80.3	95.6	64.80	20	-
014_013 Konyha ablak	013-001	013-001	Nyílászáró	-17.2	-23.7	-24.94	-15	-
015_022 Konyha ablak	022-001	022-001	Nyílászáró	-18.1	-24.8	-32.44	-15	-
016_024-026 Előter-WC ajtó	024-026	024-026	Nyílászáró	28.1	31.2	24.73	20	-
017_024-022 Fűtő-konyha ajtó	024-022	024-022	Nyílászáró	-27.1	-32.4	-1.17	20	-
018_025-024 Fűtő-lepcső ajtó	025-024	025-024	Nyílászáró	-27.4	-34.9	-10.86	20	-
019_024-000 Előter-lepcsőház ajtó	000-024	000-024	Nyílászáró	42.7	50.3	7.34	20	-
020_027-000 Előter-lepcsőház ajtó	000-023	000-023	Nyílászáró	34.6	41.3	4.44	20	-

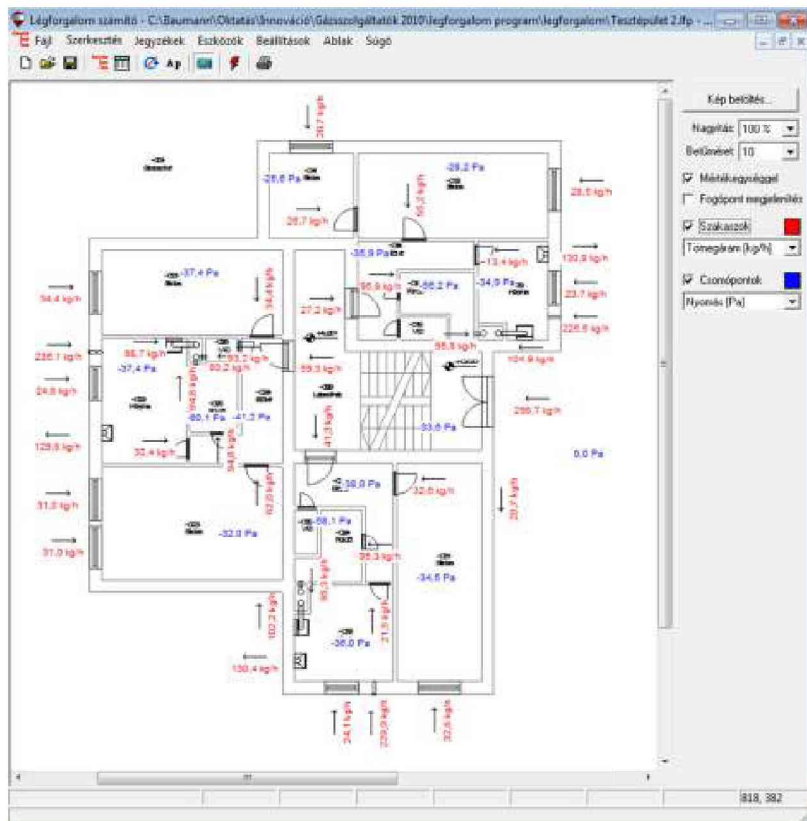
3. ábra Számítási eredmények táblázata

A 3. ábra mutatja be a számítási eredmények táblázatos formában való megjelenítését. A táblázatos megoldás azért szerencsés, mert sok szakasz eredményét lehet könnyen áttekinteni, jó ez az összehasonlítások szempontjából is.

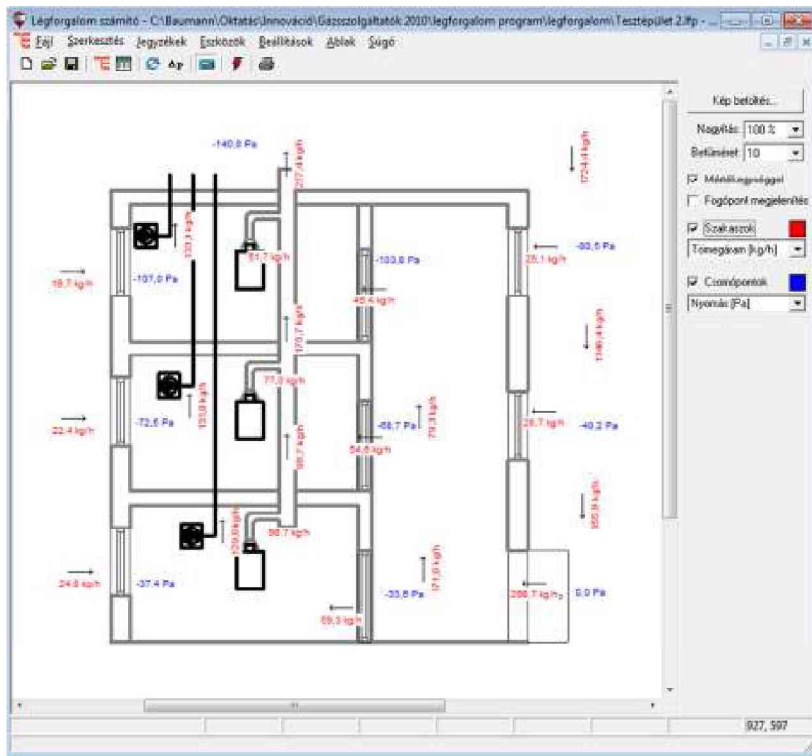
Nagy hátránya azonban ennek a fajta megjelenítésnek, hogy nehéz az egyes információkat az épülettel összekapcsolni. Különösen nehéz az eredmények prezentálása egy kívülálló számára. Ez utóbbi megkönnyítésére készült egy másik megjelenítési forma is, a számítási eredmények egy képen is elhelyezhetőek.

A 4. ábra egy alaprajzot, az 5. ábra pedig egy metszetet mutat be. Mindkettőre felkerültek a számítási eredmények. Háttérként bármilyen WMF vagy JPG formátumú kép felhasználható. Ezt a programba beemelve a számítási eredmények bármelyikét el lehet helyezni a kép felületén, ahhoz szín rendelhető, nyíl kapcsolható, illetve a szöveg elforgatható.

A szövegek helyének ilyen módon való rögzítése után ez a képernyő felhasználható az eredmények megjelenítésére. Ez tehát azzal az előnnyel jár együtt, hogy az aktualizált eredmények jól érthető módon tekinthetők át. Nagyon megkönnyíti ez a megoldás a dokumentálást is, különösen olyankor, amikor több számítási variációt kell megvizsgálni.



4. ábra Számítási eredmények az alaprajzon



5. ábra Számítási eredmények egy metszeten

3.1 Számítási variációk

A feladat jellege megköveteli, hogy könnyen lehessen különböző számítási variációkat megvizsgálni a számítás során. A programban ezért különböző paramétereket egy-egy üzemállapothoz rögzíteni lehet.

Az üzemállapotok definiálásakor az alábbi beállítások végezhetőek el:

- **Hőmérsékletek változtatása:** A programban paraméteresen szerepelnek a hőmérsékletek, például elegendő egy helyen a vizsgálatnál előírt külső léghőmérsékletet, vagy az égéstermék hőmérsékletét megváltoztatni, az összes érintett helyen az így beállított értékkel kerülnek alkalmazásra.

- **Szakaszok kizárása:** A szakaszok kizárására azért lehet szükség, mert olyan üzemállapotot kell megvizsgálni, amelynél azt tételezzük fel, hogy egy adott ventilátor nem üzemel. Ilyenkor az érintett áramlási útvonal kizárható a számításból.
- **Nyílászárók kinyitása:** A számítási eredményeket adott esetben gyökeresen megváltoztatja az a körülmény, hogy egy adott nyílászáró nyitott vagy zárt állapotát tételezzük fel. Kapcsolókkal jelezhető, mely nyílászárókat kell a nyitott állapothoz tartozó paraméterekkel számítani.

Az egyes üzemállapotokhoz tartozó beállítások eltárolhatók, így ismételtlen beállíthatók. Másolhatóak is, hogy egy további üzemállapot beállítása minél egyszerűbben elvégezhető legyen.

4. Program alkalmazhatósága

Összefoglalásként nézzük meg, melyek azok a feladatok, amelyeknek elvégzéséhez segítséget nyújthat a program:

- **Helyiségek légszerjének ellenőrzése:** Erre a feladatra azért lehet szükség, hogy égéstermék elvezetés nélküli tüzelőberendezések felállítási helyiségének szellőzését, az égéstermék hígulását ellenőrizni lehessen. Hasonló feladat lehet lakóterek, nagyobb létszámok tartózkodására szolgáló helyiségek légszerjének ellenőrzése. Ebbe az utóbbi feladatba a központi elszívással és légbevezetőkkel való friss levegő utánpótlással megvalósított rendszerek ellenőrzése is beletartozhat.
- **Gravitációs szellőzések méretezése:** Egyszerűbb szituációkban akár egy gravitációs szellőzőkürtő működése, akár egymással légterkapcsolatban levő helyiségek összeszellőztetése ellenőrizhető. Elképzelhetőnek tartom azonban azt is, hogy nagyobb csarnokok gravitációs szellőzésének ellenőrzésére használható a program.
- **Kémények működésének ellenőrzése:** A B-típusú, atmoszférus égővel felszerelt tüzelőberendezések égéstermék elvezetése nagyon érzékeny rendszer. Más berendezések, a külső hőmérséklet vagy a szél hatása ellenőrizhető ilyen módon. Különösen érdekes lehet a probléma gyűjtőkémények esetén. Balesetek

szakértői vizsgálata során készülhetnek olyan háttérszámítások, amelyek a baleset okaira rávilágítanak.

- **Épületek hő- és füstvédelme:** Bonyolultabb légtérkapcsolatokkal rendelkező épületeknél ellenőrizhető, illetve igazolható a tervezett rendszer üzemszerű működése.

5. Összefoglalás

Az új program piacra kerüléséig még számos feladatot meg kell oldani. Ezek elsősorban tesztek, amelyek nem csak azt a célt szolgálják, hogy a számítások helyességét ellenőrizzük, hanem a használat során szerzett tapasztalatok és ötletek szoftverbe való beépítését is meg kívánjuk tenni. A könnyű, felhasználóbarát alkalmazhatóság alapvető feltétel, hogy megfelelően feltöltött adatbázisok álljanak rendelkezésre.

Mivel az eddigi tesztszámításokkal is már több érdekes eredményt sikerült produkálni, ezért nagyon bizakodóak vagyunk a jövőt tekintve.